

**LEMBAR HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW
KARYA ILMIAH : JURNAL NASIONAL TERINDEX DOAJ**

Judul Jurnal Ilmiah (Artikel) : Analisis aliran pada rotor turbin angin sumbu horisontal menggunakan pendekatan komputasional

Jumlah Penulis : **Nazaruddin Sinaga***

Status Pengusul : Penulis ke-1

Identitas Jurnal Ilmiah :

- a. Nama Jurnal : EKSERGI Jurnal Teknik Energi
- b. Nomor ISSN : 2528-6889
- c. Volume, nomor, bulan tahun : 13, 3, September 2017
- d. Penerbit : Politeknik Negeri Semarang
- e. DOI artikel (jika ada) : 10.32497/eksergi.v13i3.1027
- f. Alamat web Jurnal :
<https://jurnal.polines.ac.id/index.php/eksergi/issue/view/178>
 Alamat Artikel :
<https://jurnal.polines.ac.id/index.php/eksergi/article/view/1027>
- g. Terindeks di : Google Scholar, Indonesian Publication Index, Indonesian Scientific Journal Database, DOAJ, Garba Rujukan Digital (GARUDA)
- h. Turnitin Similarity : 19%

Kategori Publikasi Jurnal Ilmiah : ☒ **Jurnal Nasional Terindex DOAJ**
 (beri ✓ pada kategori yang tepat) ☐ Seminar Nasional

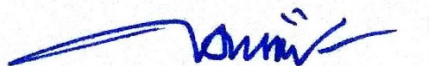
Hasil Penilaian *Peer Review* :

Komponen Yang Dinilai	Nilai Maksimal Jurnal Ilmiah		Nilai Akhir yang Diperoleh
	Nasional Terindex DOAJ <input checked="" type="checkbox"/>	Seminar Nasional <input type="checkbox"/>	
a. Kelengkapan unsur isi jurnal (10%)	1,5		1,5
b. Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (30%)	4,5		4,275
c. Kecukupan dan kemutakhiran data/informasi dan metodologi (30%)	4,5		4,275
d. Kelengkapan unsur dan kualitas terbitan/jurnal (30%)	4,5		4,35
Total = (100%)	15		14,4
Nilai Pengusul = 100% x 14,4 =			14,4

Catatan Penilaian artikel oleh Reviewer :

- a. Kelengkapan unsur artikel baik dan lengkap (→ nilai 10%)
- b. Topik cukup baik membahas tentang *pemodelan simulasi perhitungan untuk menganalisis dan merancang turbin angin dengan berbagai variasi paramete*, kajian dan variabelnya cukup baik. (nilai → 28,5 %)
- c. Kemutakhiran, referensi 10 tahun terakhir ada 4 buah (40 %) dari 10 buah. Referensi buku ada 6 buah (60 %) dari 10 buah referensi. Metode penelitian cukup baik tetapi jelas (nilai → 28,5 %).
- d. Jurnal EKSERGI - Jurnal Teknik Energi, Penerbit Politeknik Negeri Semarang, terindek Google Scholar, Indonesian Publication Index, Indonesian Scientific Journal Database, DOAJ, Garba Rujukan Digital (GARUDA) → (nilai = 29 %).
 Format artikel cukup baik, namun Penulisan daftar pustaka untuk paper ini atau volume ini tidak standard dan tidak konsisten.

Banda Aceh, 23 November 2019
Reviewer-1



Prof. Dr. Ir. Husaini, MT
NIP 196108081988111000
Bidang Ilmu: Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala



Eksergi: Jurnal Teknik Energi

Eksergi

0216-8685 (Print); 2528-6889 (Online)



[Homepage](#)

Publisher: Politeknik Negeri Semarang

Country of publisher: Indonesia

Platform/Host/Aggregator: OJS

Date added to DOAJ: 16 Mar 2018

Record Last Updated: 17 Mar 2018

LCC Subject Category: Technology: Electrical engineering. Electronics. Nuclear engineering

Publisher's keywords: energy engineering

Language of fulltext: Indonesian

Full-text formats available: PDF

PUBLICATION CHARGES

[Article Processing Charges \(APCs\):](#) No

[Submission Charges:](#) No

EDITORIAL INFORMATION

[Peer review](#)

[Editorial Board](#)



Eksergi

Eksergi: Jurnal teknik Energi (p-ISSN 0216-8685 | e-ISSN 2528-6889 | DOI 10.32497/eksergi) publishes research articles, conceptual articles, reports field studies, the best practices and policies of energy techniques (See Focus and Scope). The articles of this journal are published every four months, that is on January, May, September (3 issues per year), and published by the Politeknik Negeri Semarang.

Abstracting and Indexing: [Google Scholar](#), [Indonesian Publication Index](#), Indonesian Scientific Journal Database, [DOAJ](#), [Garba Rujukan Digital \(GARUDA\)](#)

Vol 15, No 2 (2019): MEI 2019

Table of Contents

Articles

[Analisis Pengaruh Penggantian Heating Element Terhadap Kinerja Air Preheater Type Ljungstrom Di PLTU Jateng 2 Adipala 1x660 MW](#)

Mulyono Mulyono, Anis Roihatin

[PDF](#)
42-49

[Pembuatan Alat Uji Perpindahan Panas Secara Radiasi](#)

Wahyono Wahyono, Ilyas Rochani

[PDF](#)
50-59

[Rancang Bangun Motor – Generator Magnet Permanen Jenis NdFeB](#)

Budhi Prasetyo, Teguh Harijono Mulud

[PDF](#)
60-69

[Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal 9 Sudu Flat Dengan Variasi Rasio Lebar Sudu Top Dan Bottom Untuk Meningkatkan Kinerja PLTB](#)

Yusuf Dewantoro Herlambang, Wahyono Wahyono

[PDF](#)
70-76

[Solar Tracking Dual – Axis Berbasis Arduino Uno Dengan Menggunakan Lensa Fresnel Guna Meningkatkan Efisiensi Pengfokusan Cahaya Matahari](#)

Margana Margana

[PDF](#)
77-80

[Variasi Jumlah Sudu Dan Modifikasi Bentuk Nosel Pada Turbin Turgo Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro](#)

Bono Bono, Suwarti Suwarti

[PDF](#)
81-92



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](#).

- [Focus and Scope](#)
- [Publication Ethics](#)
- [Abstracting & Indexing](#)
- [Author Guidelines](#)
- [Editorial Team](#)
- [Reviewer Team](#)
- [Contact](#)
- [View My Stats](#)

USER

Username

Password

☐ Remember me

[Login](#)

JOURNAL CONTENT

Search

Search Scope

All

[Search](#)

Browse

- [By Issue](#)
- [By Author](#)
- [By Title](#)
- [Other Journals](#)



Vol 13, No 3 (2017)

SEPTEMBER 2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.32497/eksergi.v13i3>

Table of Contents

Articles

Pengujian Tingkat Pencahayaan di Ruang Kuliah Sekolah C Lantai III- O5
supriyo supriyo, Ismin Taukhid Rahyono

PDF

Sistem Pengoperasian dan Sistem Perawatan PT. PJB UP Brantas Plta Sutami Malang
Yoga Ian Arianto, Wahyono Wahyono

PDF

Analisa Perbandingan Penambahan Kalor dan Laju Aliran Massa Pada Condensate Water System
PLTU Unit 1 Dan 2
Suwarti Suwarti, Budhi Prasetyo

PDF

Analisis Aliran Pada Rotor Turbin Angin Sumbu Horisontal Menggunakan Pendekatan
Komputasional
Nazaruddin Sinaga

PDF

Turbin Angin Vertikal Sudu Aerofoil NACA 0018 Series Berbasis Konstruksi Helical/Twist Terhadap
Variasi Sudut Sudu
Yusuf Dewantoro Herlambang, Dwiana Hendrawati, Sudjito Sudjito

PDF

Penurunan Tahanan Pembumian dengan Menggunakan Campuran Gypsum dan Arang Pada
Elektroda Plat
Wiwik Purwati Widyarningsih, Teguh Harijono Mulud, Kurnia Afiliani

PDF



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- Focus and Scope
- Publication Ethics
- Abstracting & Indexing
- Author Guidelines
- Editorial Team
- Reviewer Team
- Contact
- View My Stats

USER

Username

Password

☐ Remember me

[Login](#)

JOURNAL CONTENT

Search

Search Scope

All

[Search](#)

Browse

- By Issue
- By Author
- By Title
- Other Journals



Editorial Team

Editor-in-Chief

[Yusuf Dewantoro Herlambang](#), [SCOPUS ID: 57194209980] Politeknik Negeri Semarang, Indonesia

Managing Editor

[Anis Roihatin](#), [SCOPUS ID : 55233681400] Politeknik Negeri Semarang, Indonesia

Editorial Boards

[Suyitno Suyitno](#), [SCOPUS ID : 57203099934] Universitas Gajah Mada, Indonesia
[Jayan Sentanuhady](#), [SCOPUS ID: 14421868900] Universitas Gajah Mada, Indonesia
[Sahid Sahid](#), [SINTA ID : 6657013] Politeknik Negeri Semarang, Indonesia
[Mulyono, Mulyono,,](#) [SINTA ID : 6036311] Politeknik Negeri Semarang, Indonesia
[Sulistyo Sulistyo](#), [SCOPUS ID: 57201559355] Universitas Diponegoro, Indonesia
[Achmad Widodo](#), [SCOPUS ID: 15049049600] Universitas Diponegoro, Indonesia

IT Support

[Yanuar Mahfudz](#), [SCOPUS ID: 56516919800] Politeknik Negeri Semarang, Indonesia



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](#).

- [Focus and Scope](#)
- [Publication Ethics](#)
- [Abstracting & Indexing](#)
- [Author Guidelines](#)
- [Editorial Team](#)
- [Reviewer Team](#)
- [Contact](#)
- [View My Stats](#)

USER

Username

Password

☐ Remember me

[Login](#)

JOURNAL CONTENT

Search

Search Scope

All

[Search](#)

Browse

- [By Issue](#)
- [By Author](#)
- [By Title](#)
- [Other Journals](#)

ANALISIS ALIRAN PADA ROTOR TURBIN ANGIN SUMBU HORISONTAL MENGUNAKAN PENDEKATAN KOMPUTASIONAL

by Nazaruddin Sinaga

Submission date: 02-Sep-2019 10:32PM (UTC+0700)

Submission ID: 1166265924

File name: ANGIN_SUMBU_HORISONTAL_MENGUNAKAN_PENDEKATAN_KOMPUTASIONAL.pdf (1.14M)

Word count: 2854

Character count: 15940

1. Pendahuluan

Saat ini listrik merupakan kebutuhan yang tidak terpisahkan dari kegiatan manusia, karena penggunaannya yang praktis. Berbagai sumber energi primer dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, baik yang bersifat terbarukan (*renewable*) maupun tak terbarukan (*non-renewable*). Tekanan yang dialami akibat sifatnya yang tak terbarukan, serta efek negatifnya terhadap lingkungan secara global, mengakibatkan tumbuh pesatnya penggunaan sumber-sumber energi terbarukan pada dua dekade terakhir ini, termasuk energi angin.

Angin sebagai sumber energi yang jumlahnya melimpah merupakan sumber energi yang terbarukan. Energi angin akan tetap ada selama bumi masih mendapat energi dari matahari. Dengan menerapkan teknologi konversi energi yang tepat, energi angin sebagai sumber energi terbarukan dapat diharapkan menjadi sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak akan pernah habis. Namun demikian, tidak seluruh

wilayah di muka bumi ini memiliki potensi energi angin yang tinggi. Pada umumnya di daerah sub-tropik memiliki potensi energi angin yang lebih besar dibandingkan dengan di daerah tropik.

Pemanfaatan energi angin di Indonesia masih belum cukup intensif dan cenderung tidak menjadi prioritas pemerintah. Hal ini dapat dimengerti karena menurut Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), pengembangan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Indonesia masih menghadapi beberapa masalah penting yang harus dipecahkan, yang salah satunya adalah rendahnya kecepatan angin di Indonesia, yaitu rata-rata hanya pada kisaran 2,5 – 6 m/s [1]. Meski potensi tersebut secara rata-rata cukup rendah, akan tetapi sebenarnya cukup banyak daerah-daerah di Indonesia yang memiliki potensi energi angin yang layak untuk dimanfaatkan, terutama sebagai energi listrik.

Permasalahan rendahnya kecepatan angin ini tentu berdampak kepada rendahnya energi listrik yang dihasilkan, sehingga harga instalasi menjadi sangat mahal [2]. Sebagai contoh, jika suatu turbin angin dapat menghasilkan daya sebesar 10 kW pada kecepatan angin 10 m/s, maka jika kecepatan angin hanya 5 m/s maka daya yang dihasilkan turbin angin hanya sekitar 1,25 kW. Hal ini berarti, untuk menghasilkan daya 10 kW dibutuhkan 8 unit turbin angin. Hal ini tentunya akan membuat biaya produksi listrik dari turbin angin ini menjadi sangat mahal, bahkan tidak layak secara ekonomi.

Oleh karena itu, agar pemanfaatan energi angin di Indonesia dapat dilakukan secara intensif maka perlu diupayakan teknologi turbin angin yang dapat bekerja pada kecepatan angin rendah, dan juga dapat menghasilkan energi yang besar. Beberapa teknologi telah dihasilkan dan diaplikasikan, mulai dari teknologi variasi luas permukaan rotor, generator kecepatan rendah, penurunan momen inersia, aplikasi tiang yang lebih tinggi, dan sebagainya [3, 4, 5, 6]. Kemajuan teknologi turbin angin kecepatan rendah ini menuntut kemampuan untuk memprediksi karakteristik turbin untuk berbagai parameter yang mungkin divariasikan.

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan numerik 2 dan 3 dimensi dari suatu turbin angin yang terdapat di Laboratorium Efisiensi dan Konservasi Energi, Universitas Diponegoro, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan model simulasi perhitungan yang nantinya dapat digunakan untuk menganalisis dan merancang turbin angin dengan berbagai variasi parameter, misalnya sudut pitch, sudut yaw, sudut tilt, sudut precone, diameter rotor, jenis airfoil, kecepatan angin, intensitas turbulensi, dan sebagainya.

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS FLUENT dengan membandingkan 2 model turbulensi, yaitu k- ϵ standard dan Spalart-Allmaras, pada sebuah turbin angin sumbu horizontal 3 sudu berdiameter 120 cm menggunakan airfoil NACA 1815 dengan panjang chord terlebar 153 mm. Kecepatan angin divariasikan dari 2,5 m/s - 3,4 m/s pada kecepatan rotor 355 rpm, dengan sudut serang dari 0 - 16 derajat serta sudut pitch 23 - 26 derajat.



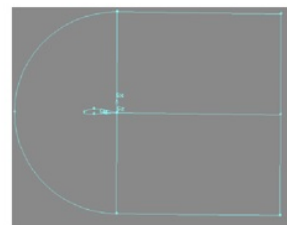
Gambar 1. Turbin angin horisontal 3 sudu

2. Metoda Perhitungan

3.2. Simulasi Airfoil 2 Dimensi

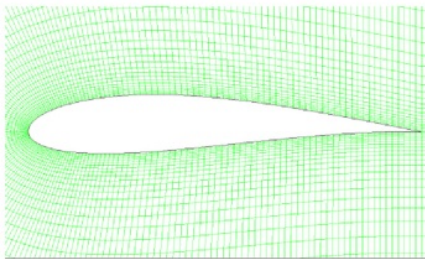
Airfoil 2D dengan panjang chord (c) = 0.153 m dan memiliki penampang memanjang tak terhingga ditempatkan dalam aliran luar dengan kecepatan aliran bebas yang uniform, dalam keadaan tanpa gangguan. Adapun batas-batas domain perhitungan dapat dilihat pada Gambar 2. Dinding airfoil diasumsikan berada dalam keadaan tidak slip (*no-slip wall condition*). Kondisi kecepatan masuk (*velocity inlet*) diterapkan pada batas masuk, batas samping atas dan samping bawah. Adapun sisi keluarnya (*pressure outlet*) dikondisikan memiliki gradien tegak lurus nol.

Domain perhitungan ini sebenarnya merupakan geometri yang relatif sederhana, sehingga grid yang dipakai adalah jenis *quadrilateral*. Jenis grid ini dapat mengurangi waktu komputasi dibanding jenis *triangular* serta menambah akurasi hasil simulasi. Adapun untuk simulasi airfoil ini digunakan jenis grid *quadrilateral* tersruktur jenis-C grid seperti ditunjukkan pada Gambar 3 [7, 8, 9, 10].



Gambar 2. Domain perhitungan airfoil 2 dimensi

Proses penggenerasian *mesh* dilakukan mulai dari *mesh* garis dengan *successive ratio* = 1, *interval count* yang sesuai dengan tingkat ketelitian di masing-masing zona dan juga *interval size* = 0,015. Pada Gambar 3 diperlihatkan hasil generasi *mesh* model *airfoil*, dimana *meshing* pada daerah *leading edge* lebih rapat karena diperkirakan daerah *leading edge* memiliki *gradient* tekar dan kecepatan yang tinggi. Model solusi yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.



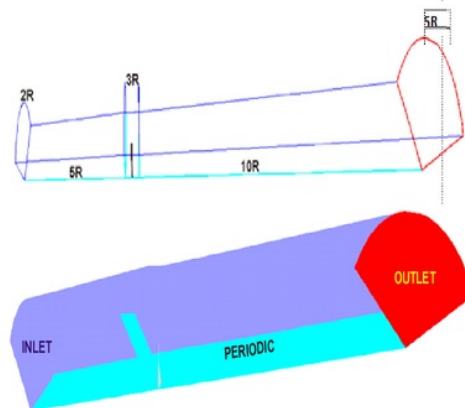
Gambar 3. Grid quadrilateral terstruktur

Tabel 1. Model solusi simulasi airfoil 2D

Viscous model	k-ε RNG
Near wall treatment	Enhanced wall function
Discretization:	
Pressure	Standard
Pressure-velocity coupling	SIMPLE
Momentum	2nd Upwind scheme
Turbulence kinetic energy	1st Upwind scheme
Turbulence dissipation rate	1st Upwind scheme
Calculational method	Steady

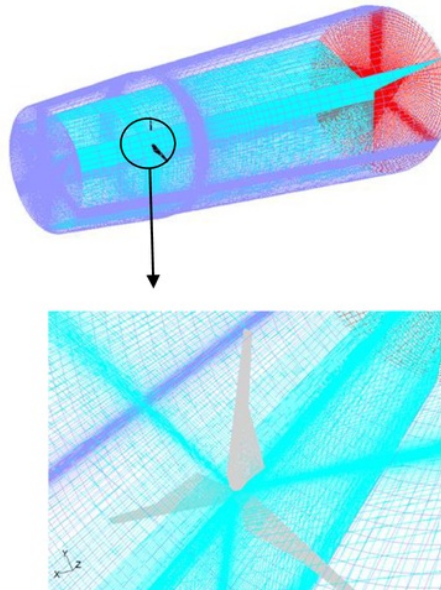
3.2. Simulasi Rotor Aliran 3 Dimensi

Rotor turbin angin ditempatkan dalam aliran luar berbentuk *stream-tube*, dengan kecepatan aliran bebas yang *uniform*, tanpa gangguan (*undisturbed*). Adapun domain dan kondisi batas yang ditetapkan pada simulasi 3 dimensi ini ditunjukkan pada Gambar 4. Sudu sebagai dinding yang diasumsikan berada dalam keadaan tidak slip (*no-slip wall condition*). Kondisi batas *velocity inlet* diterapkan pada sisi masuk dan selubung, *periodic* pada sisi kanan dan kiri dan sisi keluar berupa *pressure outlet*.



Gambar 4. Domain dan kondisi batas perhitungan 3D

Dalam pemodelan rotor ini, generasi *mesh* dilakukan mulai dari *mesh* garis dengan *successive ratio* = 1, *interval count* = 40 yang sesuai dengan tingkat ketelitian di masing-masing zona dan juga *first length* = 0,1. Pada tahap berikutnya dilakukan generasi *volume mesh* pada seluruh domain. Pembuatan *mesh* di sini menggunakan elemen *hexagonal* dan tipe generasi *hex cooper*. Pada Gambar 5 ditunjukkan hasil generasi *mesh* 3D tersebut. Penggenerasian *volume mesh* secara *periodic* dilakukan untuk menghemat jumlah grid dan waktu komputasi.



Gambar 5. Hasil generasi mesh pada domain 3D. Adapun model solusi yang digunakan dalam simulasi 3 dimensi ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Model solusi dalam simulasi turbin angin 3D

Viscous model	k-ε standard
Near wall treatment	satndard wall function
Dicretization:	
Pressure	Standard
Pressure-Velocity coupling	SIMPLE
Momentum	1st Upwind scheme
Turbulence kinetic energy	1st Upwind scheme
Turbulence Dissipation Rate	1st Upwind scheme
Calculational method	Steady

3. Hasil Perhitungan dan Diskusi

3.2. Simulasi Airfoil 2 Dimensi

Pada Tabel 3 ditunjukkan hasil simulasi aliran 2D yang dilakukan pada airfoil dengan kecepatan dan sudut serang (AOA) yang beragam. Nilai gaya yang dihasilkan adalah dengan asumsi bahwa *planform area* adalah 0,153 m².

Tabel 3. Solusi Simulasi Airfoil 2D

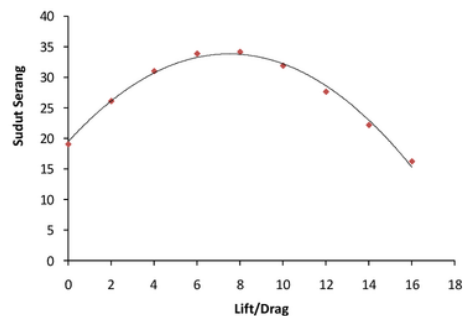
AOA	Gaya angkat		Gaya Tahanan		Total	
	Pressure	Viscous	Pressure	Viscous	Gaya Angkat	Gaya Tahanan
0	17.32	0.03	0.30	0.60	17.35	0.91
2	24.85	0.03	0.34	0.61	24.88	0.95
4	32.00	0.03	0.43	0.60	32.03	1.03
6	39.05	0.04	0.56	0.59	39.09	1.15
8	45.10	0.05	0.75	0.57	45.15	1.32
10	49.79	0.05	1.01	0.55	49.84	1.56
12	52.63	0.06	1.38	0.52	52.68	1.90
14	52.88	0.06	1.89	0.49	52.94	2.38
16	50.18	0.05	2.63	0.45	50.23	3.09

Dari hasil simulasi terlihat bahwa gaya *lift* cenderung makin besar dengan bertambah besarnya sudut serang, demikian pula dengan gaya *drag*. Keberadaan *drag* ini memberikan pengaruh yang berlawanan dengan *lift*. *Drag* akan menurunkan torsi pada turbin angin sedangkan *lift* akan menaikkan torsi pada turbin angin. Agar dapat menghasilkan torsi yang maksimum untuk memutar rotor maka sudut dibuat dalam bentuk yang menghasilkan rasio

lift/drag yang maksimum. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai rasio *lift/drag* terbaik terjadi pada sudut serang 8°.

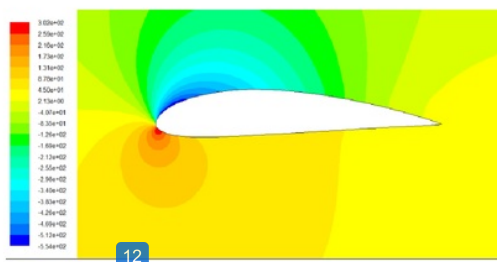
Pada sudut serang 0° aliran yang terjadi adalah aliran laminar sehingga *drag* yang timbul adalah rena desakan udara pada *leading edge*. Bentuk profil airfoil yang melengkung pada sisi atas dan cenderung datar pada sisi bawah menyebabkan kecepatan pada sisi atas lebih tinggi dari permukaan sisi bawah. Sesuai dengan persamaan Bernoulli [2], maka tekanan statik pada permukaan atas akan lebih rendah daripada tekanan statik pada permukaan bawah. Perbedaan tekanan statik pada kedua permukaan sudu inilah yang menyebabkan terjadinya gaya angkat pada sudu ataupun sayap pesawat.

Engan semakin besar sudut serang maka perubahan momentum udara ketika menumbuk sudu menjadi lebih besar pula. Perubahan momentum ke arah bawah menyebabkan timbulnya gaya ke atas pada airfoil. Namun perubahan momentum yang besar ini juga meningkatkan nilai *drag* pada airfoil, sehingga sudut serang yang terlampaui tinggi akan mengakibatkan *drag* yang besar yang mengurangi kinerja rotor. Pada sudut serang yang terlampaui tinggi terjadi fenomena *stall* yaitu kondisi ketika aliran udara tidak mampu menyentuh bagian belakang sudu atau mengalir mengikuti bentuk sudu. Hal ini menyebabkan terjadinya turbulensi yang besar pada bagian belakang sehingga meningkatkan *drag* secara signifikan.

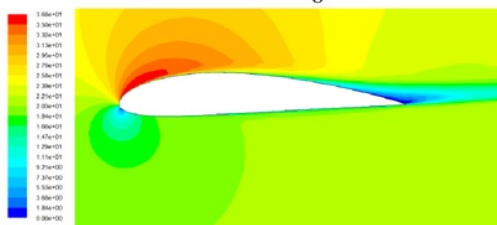


Gambar 6. Hasil perhitungan rasio lift/drag

Pada Gambar 7 diperlihatkan distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 8^\circ$. Terlihat jelas bahwa distribusi tekanan pada permukaan bawah menunjukkan nilai yang jauh lebih besar dari pada permukaan atas. Sebagai konsekuensinya dihasilkan *lift* yang tinggi pula. Akan tetapi, berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3, peningkatan gaya *lift* ini juga akan meningkatkan gaya *drag*. Pada Gambar 8 terlihat bahwa pada permukaan atas airfoil, dimulai dari daerah *trailing edge* menuju ke atas, sudah terjadi separasi aliran laminar (*laminar separation bubble*).



Gambar 7. Kontur tekanan pada sudut serang $\alpha = 8^\circ$

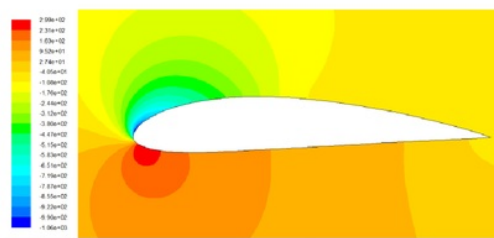


Gambar 8. Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 8^\circ$

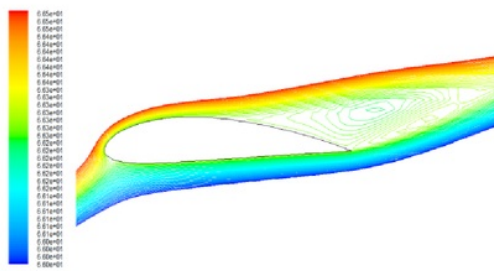
Pada Gambar 9 terlihat bahwa pada sudut serang $\alpha = 16^\circ$, titik stagnasi berada pada bagian bawah *leading edge*. Tampak pula di sepanjang permukaan airfoil distribusi tekanan menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan. Pada bagian permukaan bawah menunjukkan besarnya tekanan yang nilainya lebih dari nol ($P > 0$), tetapi pada bagian permukaan atas menunjukkan nilai tekanan kurang dari nol ($P < 0$).

Tentunya ada dampak dimana pada bagian permukaan atas distribusi tekanan dari *leading edge* sampai *trailing edge* terdapat perbedaan tekanan yang berarti ($P_{\text{leading edge}} < P_{\text{trailing edge}}$) sehingga memunculkan fenomena aliran balik dari bagian *trailing edge*. Pada Gambar 10 terlihat adanya vortex karena efek gradien tekanan yang negatif pada permukaan atas airfoil

sehingga mengakibatkan terjadinya aliran balik (*back flow*). Dalam keadaan ini sebagian aliran keluar dari lapisan batas permukaan airfoil, sehingga memicu terjadinya *stall* pada tingkat sudut serang ini. Dalam keadaan ini gaya drag lebih didominasi oleh efek tekanan (*pressure drag*) daripada efek viskos.



Gambar 9. Kontur tekanan pada sudut serang $\alpha = 16^\circ$



Gambar 10. Fungsi arus pada sudut serang $\alpha = 16^\circ$

3.2. Simulasi Aliran Rotor 3 Dimensi

Simulasi ini dilakukan dengan kondisi yang sama dengan simulasi 2 dimensi, yaitu pada kecepatan angin 3,4 m/s dan kecepatan rotor 355 rpm. Kecepatan ini merupakan nilai *cut in speed* turbin angin pada kondisi berbeban. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *starting torque* terhadap sudut *pitch*.

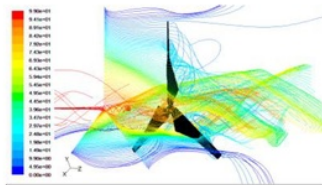
3.2.1. Pengaruh Model Turbulensi

Dalam simulasi ini divariasikan 2 model turbulensi yang sering digunakan, yaitu k- ϵ standar dan model Spalart-Allmaras. Hasil perhitungan torsi untuk kedua model turbulensi tersebut diperlihatkan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut terlihat bahwa simulasi dengan menggunakan model k- ϵ standar memiliki ketelitian hasil yang lebih baik dibandingkan dengan model Spalart-Allmaras.

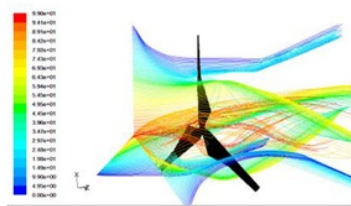
Tabel 4 Nilai torsi hasil simulasi 2 model turbulensi

Kec (m/s)	Torque (Fluent)		Torque (Tawdri)	Error (%)	
	k- ϵ standard	spalart allmaras		k- ϵ standard	spalart allmaras
3.4	4.111	4.147	4.120	-0.211	0.656
3.5	5.037	4.471	4.800	4.936	-6.863
3.7	5.179	4.580	5.020	3.162	-8.765
3.9	6.103	5.670	5.980	2.052	-5.184
4	6.735	6.580	6.690	0.679	-1.644

Pada Gambar 11 dan 12 ditunjukkan perbandingan garis-garis lintasan untuk kedua model turbulensi. Perbandingan kedua garis ini menunjukkan bahwa model k- ϵ standard lebih mampu mengidentifikasi bagian yang berdekatan dengan permukaan sudu dan aliran *free-stream*. Aliran dapat diperlihatkan dengan baik, yang ditunjukkan dari kerapatan *path line* yang terbentuk. Hal ini dapat diamatai dari garis lintasan yang tidak terlihat pada model Spalart-Allmaras, sedangkan pada model k- ϵ standard garis-garis ini muncul dengan jelas. Berdasarkan perbandingan nilai torsi dan garis lintasan tersebut maka untuk analisis selanjutnya digunakan model turbulensi k- ϵ standard.



Gambar 11. Garis lintasan hasil simulasi menggunakan model turbulensi k- ϵ standard.



Gambar 12. Garis lintasan hasil simulasi menggunakan model turbulensi Spalart-Allmaras

3.2.2. Pengaruh Pitch Terhadap Starting Torque

Starting torque merupakan nilai torsi awal yang dihasilkan untuk memutar sudu dari kondisi diam

sampai sudu bergerak. Nilai *starting torque* yang besar menyebabkan nilai *cut in speed* dari turbin kecil. Pada Tabel 5 diperlihatkan hasil perhitungan nilai *starting torque* yang terjadi pada berbagai sudu *pitch* dan kecepatan rotor turbin angin.

Tabel 5 Nilai *starting torque* hasil simulasi

Pitch	Starting torque (N-m)			
	Kec 3,4 m/s	Kec 3,2 m/s	Kec 3 m/s	Kec 2,5 m/s
0				
23	0.0350	0.0308	0.0211	0.0174
24	0.0404	0.0364	0.0323	0.0276
25	0.0413	0.0396	0.0393	0.0283
26	0.0371	0.0328	0.0319	0.0262

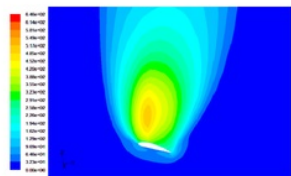
Dari Tabel 5 tersebut dapat dilihat bahwa nilai *starting torque* pada sudut *pitch* 23° pada kecepatan 3,4 m/s, yaitu pada kecepatan *cut-in speed*, adalah 0.0350 N-m. Nilai *cut in speed* turun menjadi 3,2 m/s dengan menambah sudut *pitch* menjadi 24°. Hal ini dapat dilihat dari nilai *starting torque* pada kondisi ini yaitu 0.0364 N-m, yang lebih besar dari 0.0350 N-m. Nilai *cut in speed* terkecil adalah pada sudut *pitch* 25° yaitu 3 m/s, dimana nilai *starting torque* lebih besar daripada nilai *starting torque* pada sudut *pitch* 23°.

3.2.3. Pengaruh Kecepatan dan Sudut Pitch Terhadap Intensitas Turbulensi

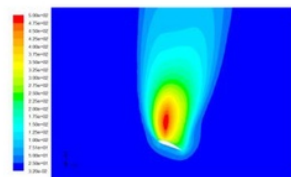
Gambar 13 hingga 15 menunjukkan nilai intensitas turbulensi untuk sudut *pitch* yang berbeda. Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilainya pada *pitch* 26° paling besar, sehingga nilai *starting torque*, seperti pada Tabel 4, pada *pitch* 26° paling kecil, yaitu 0.414 N-m. Adapun nilai *starting torque* pada *pitch* 25° adalah paling besar yaitu 0.625 N-m. Nilai intensitas turbulensi yang lebih besar akan menyebabkan nilai gaya tahanan yang terjadi bertambah besar, sehingga akan mempengaruhi nilai *starting torque* menjadi semakin rendah.

Pada Gambar 16 dan Gambar 17 ditunjukkan kontur intensitas turbulensi pada *pitch* 24° kecepatan 3,2 m/s dan *pitch* 23° kecepatan 3,4 m/s. Terlihat bahwa nilai intensitas turbulensi pada kecepatan 3,2 m/s dan *pitch* 24° lebih kecil daripada intensitas turbulensi pada kecepatan 3,4 m/s dan *pitch* 23°. Dengan demikian, berdasarkan Tabel 4, nilai *starting torque pitch* 24° pada kecepatan 3,2 m/s menjadi lebih besar.

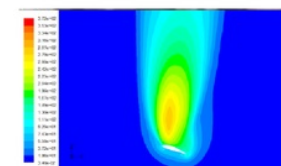
Pada Gambar 18 dan Gambar 3 ditunjukkan vektor kecepatan pada *pitch* 24° pada kecepatan 3,2 m/s dan *pitch* 23° pada kecepatan 3,4 m/s. Vektor kecepatan pada *pitch* 24° dengan kecepatan 3,2 m/s menunjukkan terjadinya *wake* yang lebih kecil. Hal ini berakibat nilai intensitas turbulensi pada kecepatan 3,2 m/s *pitch* 24° lebih kecil daripada intensitas turbulensi pada kecepatan 3,4 m/s dan *pitch* 23°. Pada Gambar 20 dan Gambar 21 ditunjukkan kontur intensitas turbulensi pada *pitch* 25° kecepatan 3 m/s dan *pitch* 23° kecepatan 3,4 m/s. Dari gambar tersebut terlihat bahwa intensitas turbulensi pada kecepatan 3,2 m/s dan *pitch* 24° lebih kecil daripada intensitasnya pada kecepatan 3,4 m/s dan *pitch* 23°. Maka, berdasarkan Tabel 4 nilai *starting torque pitch* 25° pada kecepatan 3 m/s menjadi lebih besar. Pada Gambar 21 dan Gambar 22 ditunjukkan vektor kecepatan pada *pitch* 25° pada kecepatan 3 m/s dan *pitch* 23° pada kecepatan 3,4 m/s. Pada *pitch* 25° dengan kecepatan 3 m/s menunjukkan terjadinya *wake* yang kecil. Oleh karena karena *wake* yang lebih kecil ini maka intensitas turbulensi pada kecepatan 3 m/s dan *pitch* 25° lebih kecil daripada intensitas pada kecepatan 3,4 m/s dan *pitch* 23°.



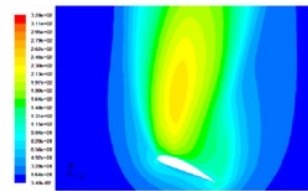
Gambar 13 Kontur intensitas turbulen pada sudut pitch 23° dan jarak $x=50$ cm



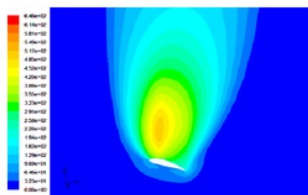
Gambar 14 Kontur intensitas turbulen pada sudut pitch 24° dan jarak $x=50$ cm.



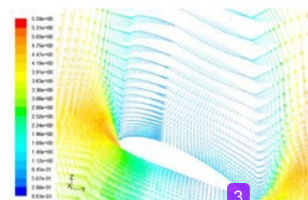
Gambar 15 Kontur intensitas turbulen pada sudut pitch 26° dan jarak $x=50$ cm



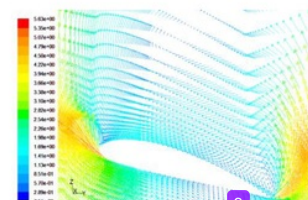
Gambar 16 Intensitas turbulensi pada sudut pitch 24° dan kecepatan 3,2 m/s



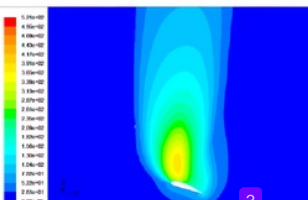
Gambar 17 Intensitas turbulensi pada sudut pitch 23° dan kecepatan 3,4 m/s



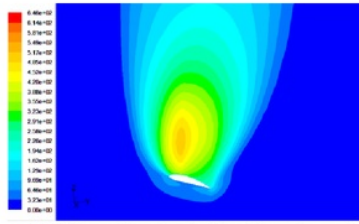
Gambar 18 Vektor kecepatan pada sudut pitch 24°, kecepatan 3.2 m/s



Gambar 19 Vektor kecepatan pada sudut pitch 23°, kecepatan 3.4 m/s

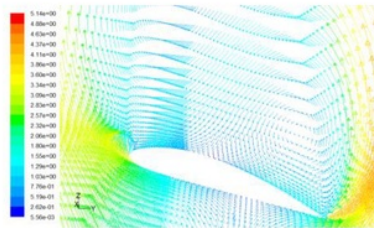


Gambar 20 Intensitas turbulensi pada sudut pitch 25° dan kecepatan 3 m/s

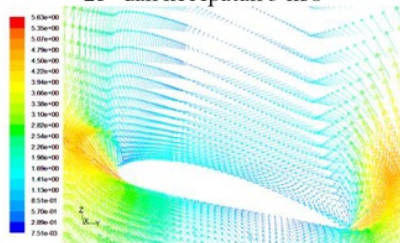


Gambar 21 Intensitas turbulensi pada sudut pitch 23° dan kecepatan 3,4 m/s

dan lebih luas maka perlu dilakukan simulasi 3 dimensi terhadap rotor turbin angin, dengan memvariasikan beberapa parameter lainnya seperti nilai intensitas turbulensi aliran angin, jenis airfoil, kecepatan rotasi rotor, baik dalam keadaan steady maupun transien.



Gambar 22 Vektor kecepatan pada sudut pitch 25° dan kecepatan 3 m/s



Gambar 23 Vektor kecepatan pada sudut pitch 23° dan kecepatan 3,4 m/s

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil simulasi yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan utama bahwa analisis aliran pada turbin angin dapat dilakukan dengan metoda numerik dengan hasil yang cukup baik. Model perhitungan yang diterapkan dapat digunakan untuk menganalisis aliran di sekitar rotor turbin, baik secara 2 dimensi maupun 3 dimensi. Kesimpulan lain yang dihasilkan adalah bahwa model turbulensi k- ϵ standard memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan model turbulensi Spalart-Allmaras. Dari simulasi ini juga dihasilkan rancangan rotor turbin angin yang dapat bekerja pada kecepatan angin yang lebih rendah dibandingkan dengan turbin angin yang dimiliki saat ini. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih mantap

ANALISIS ALIRAN PADA ROTOR TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL MENGGUNAKAN PENDEKATAN KOMPUTASIONAL

ORIGINALITY REPORT

19%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

docplayer.info

Internet Source

4%

2

ejournal.undip.ac.id

Internet Source

4%

3

Submitted to Universitas Sebelas Maret

Student Paper

2%

4

eprints.undip.ac.id

Internet Source

2%

5

journal.unisfat.ac.id

Internet Source

1%

6

media.neliti.com

Internet Source

1%

7

jurnal.ft.uns.ac.id

Internet Source

1%

8

Submitted to Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

Student Paper

1%

9	Submitted to Universitas Negeri Semarang Student Paper	1 %
10	jurnal.polines.ac.id Internet Source	<1 %
11	Submitted to Universitas Muria Kudus Student Paper	<1 %
12	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1 %
13	repository.ipb.ac.id Internet Source	<1 %
14	Submitted to Universitas Katolik Widya Mandala Student Paper	<1 %
15	www.scribd.com Internet Source	<1 %
16	psnp2tk2014.blogspot.com Internet Source	<1 %
17	fr.scribd.com Internet Source	<1 %
18	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1 %
19	elib.pdii.lipi.go.id Internet Source	<1 %
20	Submitted to Universitas 17 Agustus 1945	

21

Submitted to Udayana University

Student Paper

<1%

Exclude quotes On

Exclude matches

< 2 words

Exclude bibliography On